دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۵/۰۳
پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۰۷

(علمی – ترویجی)

بررسی سامانهٔ DME/DME به عنوان پشتیبان سیستم‌های GNSS در فرودگاه‌های ایران

محسن کاظمی[۱*]، کارشناس ارشد مهندسی مخابرات، اداره مهندسی الکترونیک هواپیمایی فرودگاه بین المللی مهرآباد

زهرا حمیدزاده دلرزی[۲]، دانشجوی کارشناسی الکترونیک هواپیما، دانشکده صنعت هواپیمایی

سید محمد رشتیان[۳]، استادیار، دانشکده صنعت هواپیمایی

*نویسنده مخاطب، آدرس: تهران، کدپستی: ۱۳۸۷۸۳۵۱۵۰

امروزه تمام ارگان‌ها و سازمان‌های هوانوردی جهان از جمله ایکائو به دنبال راه‌حل‌هایی جهت رفع بحران کمبود فضای پروازی، رشد ترافیک هوایی جهانی و فراهم کردن ایمنی پروازها هستند. نگرش کارایی محور در بحث ناوبری (PBN) که یک جهش از ناوبری مبتنی برسیستم به ناوبری مبتنی بر عملکرد است. این نگرش راه‌حلی است که می‌تواند مشکلات ناشی از افزایش تعداد پروازها و شلوغی مسیرهای هوایی را بهبود بخشد. طرح‌های پروازی PBN از طریق اجرای RNP و RNAV پیاده‌سازی می‌شود. برای استفاده از این طرح‌ها در گیرنده FMS هواپیماها چندین حسگر ورودی در نظر گرفته شده است. مهم‌ترین حسگر ورودی GNSS است. این سنسور، به صورت پیوسته از عملیات PBN پشتیبانی می‌کند. با این حال، سرویس‌های GNSS در برابر اثرات جوی و نویزهای عمدی آسیب‌پذیر هستند. در این مقاله، فرصت‌ها و چالش‌های مربوط به استفاده از DME به‌عنوان منبع جایگزین برای موقعیت‌یابی، ناوبری و زمان‌بندی (PNT) در غیاب خدمات GNSS مورد بحث قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: PBN، RNAV، FMS، DME/DME، GNSS

Investigation of DME/DME as an Appropriate Backup for GNSS Systems in Iranian Airports

M. Kazemi[1*], M.Sc., CMS Department at Mehrabad International Airport

Z. Hamidzadeh Delarzi[2], B.Sc. Student, Aviation Electronics, Civil Aviation Technology College

S.M. Rashtian[3], Assistant Professor, Aviation Electronics, Civil Aviation Technology College

*Corresponding Author, Postal Code: 1387835150, Tehran, IRAN

mo.kazemi@airport. ir

Today, all world's aviation organizations, including ICAO, are looking for solutions to airspace shortage, growth of global air traffic, and safety of flights. Performance based navigation (PBN), which is a transition from System-Base to Performance-Base Navigation is a solution that can improve the problems caused by an increase in the number of flights and complexity of air routes. PBN flight plans are implemented through RNP and RNAV. To use these designs, FMS receivers have several input sensors. The most important GNSS input sensor continuously supports PBN operations. However, GNSS services are disable due to atmospheric effects and human-made noise. This paper discusses the opportunities and challenges associated with use of DME as an alternative source for positioning, navigation, and timing (PNT) in the absence of GNSS services.

Keywords: PBN, RNAV, FMS, DME/DME, GNSS

۱- مقدمه

از زمان اختراع هواپیما و ورود این وسیله به عرصه حمل و نقل، موضوع مسیریابی و موقعیت‌یابی در پروازها همواره مطرح بوده است. در طی سال‌های گذشته فناوری‌های زیادی برای مسیریابی و تعیین موقعیت مکانی مورد استفاده و آزمون قرار گرفتند، که هر یک ضمن داشتن امتیازات، ناکارآمدی‌های خود را داشتند. رشد ترافیک هوایی جهانی از یک سو و فراهم کردن ایمنی پروازها از سوی دیگر باعث شد تا سازمان بین‌المللی هواپیمایی غیرنظامی (ایکائو)[1] برای حل مشکلات مربوطه یک قالب کاری جامع که در برگیرنده اصول کلیدی و سیاست هوانوردی در راستای اجرای طرح‌های ناوبری هوایی جهانی باشد، ارائه نماید. ایکائو طرح بهره‌برداری از سامانه ناوبری ماهواره‌ای جهانی[2] را به‌عنوان راه‌حل مناسب برای مقابله با مشکلات ناوبری هوایی و نارسایی‌های سامانه ناوبری سنتی که پرواز هواپیماها را در فضاها و فرودگاه‌های فاقد امکانات ناوبری ناممکن می‌ساخت، تصویب و برنامه اجرایی آن را در سال ۲۰۰۳ طی سند ۹۸۴۹ به کشورهای عضو ابلاغ نمود. در ادامه ابتدا سیستم‌های ناوبری سنتی شرح داده می‌شود و سپس سیستم‌های ناوبری ماهواره‌ای مدرن را بررسی کرده و مزایای آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

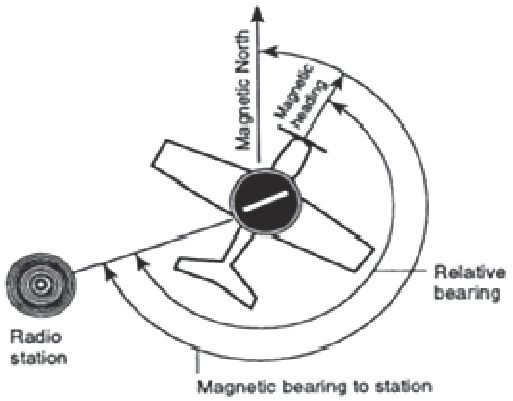
۱-۱- آشنایی با سیستم‌های ناوبری سنتی

در روش‌های سنتی، ناوبری مبتنی بر حسگر است. بنابراین، هواپیما همیشه براساس سیستم‌های کمک ناوبری زمینی پرواز می‌کند که این سیستم‌ها عبارتند از:

ان-دی-بی[3]**:** یک فرستنده ساده رادیوئی AM است که خلبان را از جهت ایستگاه رادیویی انتخاب شده آگاه می‌سازد. لازم به ذکر است، این سامانه که از عناصر مهم ناوبری قدیمی هواپیماها بوده، برای استفاده در موقعیت‌یابی مبتنی بر کارایی[4] حذف شده است [۴-۲].

وی-اُ-آر[5]**:** یک فرستندهٔ کمک ناوبری است که اطلاعات زاویه‌ای نسبت به شمال مغناطیسی را در اختیار خلبان قرار می‌دهد (شکل **۱**) [۴-۲].

دی-ام-ای[6]**:** یک سیستم فرستنده/گیرنده است. وظیفه این سیستم اندازه‌گیری پیوستهٔ فاصله هواپیماها از ایستگاه زمینی است [۴-۲].



شکل (۱): زاویهٔ ام-بی[7] [۱].

آی-ال-اس[8]**:** دستگاهی است که خلبان را جهت فرود موفق و استاندارد یاری می‌کند و از دو بخش کاملاً مجزا محلی‌سازی[9] برای هدایت عرضی و مسیرگلاید/شیب گلاید[10] برای هدایت عمودی تشکیل شده است (شکل **۲**) [۴-۲].

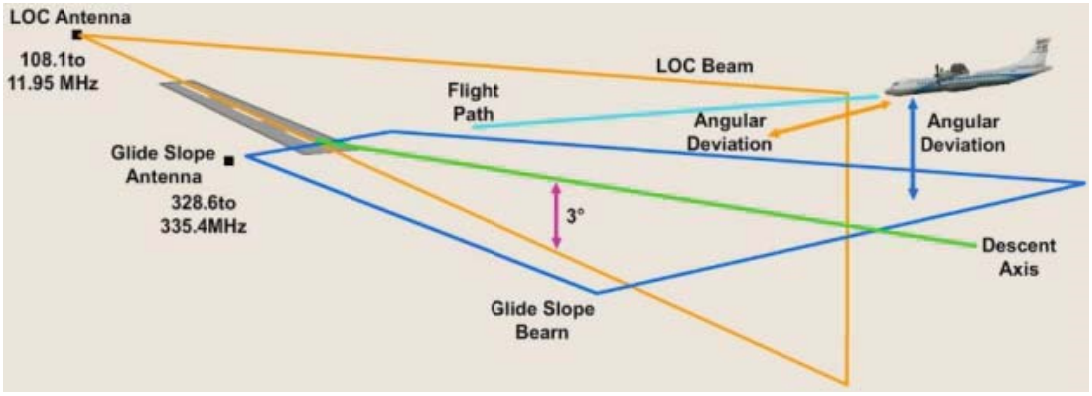
۱-۲- آشنایی با سیستم‌های ناوبری ماهواره‌ای GNSS

ناوبری ماهواره‌ای امکان اجرای ناوبری مبتنی بر عملکرد را فراهم می‌سازد و هدایت‌های ناوبری برای تمامی مراحل پرواز از مرحله پرواز در راه هوایی تا طرح فرود دقیق را ارائه می‌نماید [۲]. در حال حاضر، برای انجام ناوبری از سامانه‌های موقعیت‌یاب ماهواره‌ای GPS و گلوناس[11] و در آینده از گالیلئو[12] استفاده می‌شود که در ادامه به بررسی هر یک پرداخته می‌شود.

۱-۲-۱- GPS

سامانه GPS متعلق به آمریکا و متولی آن وزارت دفاع آمریکا است. این سیستم در کاربرد غیرنظامی به‌طور عمده با کاهش زیاد دقت و صحت روبه‌رو می‌شود [۵]. مشخصات فنی و عملیاتی ماهواره‌های GPS به طور خلاصه در جدول **۱** بیان شده است.

1. International Civil Aviation Organization (ICAO)
2. Global Navigation Satellite System (GNSS)
3. Non Direction Beacon (NDB)
4. Performance-based Navigation (PBN)
5. Very High Frequency Omnidirectional Radio Range (VOR)
6. Distance Measuring Equipment (DME)
7. Magnetic Bearing (MB)
8. Instrument Landing System (ILS)
9. Localizer (LLZ)
10. Glide Path/Glide Slope (GP/GS)
11. GLONASS
12. GALILEO



شکل (۲): سیستم آی-ال-اس [۴].

جدول (۱): مشخصات فنی و عملیاتی GPS [۲، ۵].

صورت فلکی	۲۴ ماهواره (۴ ماهواره در ۶ صفحه مداری) (۲۱ ماهواره فعال+ ۳ ماهواره پشتیبان)
ارتفاع	۲۰,۲۰۰ کیلومتر
دوره زمانی مداری هر ماهواره	۱۱ ساعت و ۵۶ دقیقه
زاویهٔ خمش	۵۵ درجه نسبت به استوا
تعداد صفحه مداری	۶

۱-۲-۲- گلوناس

گلوناس متعلق به روسیه است. این سیستم از نظر مکانیزم ناوبری و تعداد ماهواره‌ها کاملاً مشابه GPS است [۵]. در عین حال از نظر تعداد مدارها و نوع سیستم، اختلافاتی با GPS دارد که در جدول **۲** مشاهده می‌شود.

جدول (۲): مشخصات فنی و عملیاتی گلوناس [۲، ۵].

صورت فلکی	۲۴ ماهواره (۸ ماهواره در ۳ صفحه مداری) + تعدادی ماهواره پشتیبانی
ارتفاع	۱۹,۱۰۰ کیلومتر
زاویهٔ خمش	۶۴.۸ درجه نسبت به استوا
تعداد صفحه مداری	۳

۱-۲-۳- گالیلئو

گالیلئو سیستم موقعیت‌یاب ماهواره‌ای جهانی متعلق به اروپاست که دقت بسیار بالایی دارد. استفاده از آن برای عموم آزاد است. هدف از این سیستم فراهم آوردن موقعیت‌یابی افقی و عمودی با دقت یک متر و ارائه سرویس‌های موقعیت‌یابی در عرض‌های جغرافیایی بالا است [۵]. مشخصات فنی و عملیاتی ماهواره‌های گالیلئو به طور خلاصه در جدول **۳** ذکر شده است.

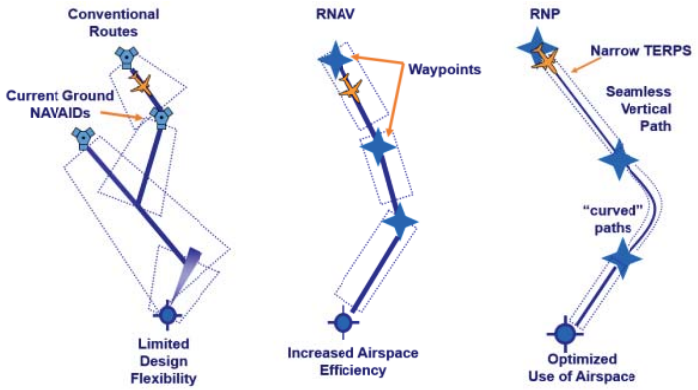
جدول (۳): مشخصات ماهواره‌های گالیلئو [۲، ۵].

صورت فلکی	۳۰ ماهواره (۲۷ ماهواره فعال و ۳ ماهواره یدکی)
ارتفاع	۲۳۲۲۲ کیلومتر
زاویهٔ خمش	۵۶ درجه نسبت به استوا
تعداد صفحه مداری	۳

۱-۲- ناوبری مبتنی بر عملکرد

در روش‌های سنتی، هواپیما در مسیرهای مشخص و با استفاده از ایستگاه‌های کمک ناوبری رادیویی موجود در بین راه به سمت مقصد پرواز می‌کنند. این در حالی است که در ناوبری مبتنی بر عملکرد، هواپیما ابتدا موقعیت کنونی خود را از نظر طول و عرض جغرافیایی تعیین کرده و سپس از این موقعیت برای تعیین مسیر پرواز کمک می‌گیرد. ناوبری مبتنی بر عملکرد شامل دو مفهوم ناوبری ناحیه‌ای[1] و کارایی ناوبری موردنیاز[2] است. با استفاده از RNAV هواپیما قادر به پرواز در هر مسیر پروازی دلخواه که توسط سیستم‌های کمک ناوبری زمینی یا فضایی پشتیبانی می‌شود، خواهد بود. این مفهوم برای RNP نیز صدق می‌کند. یکی از ویژگی‌های بارز عملیات RNP، تجهیز هواپیما به سیستم نظارت و هشدار بر عملکرد ناوبری است که در صورت برآورده نشدن نیازمندی‌ها، به خدمه اطلاع داده می‌شود [۱، ۶].

1. Area Navigation (RNAV)
2. Required Navigation Performance (RNP)



شکل (۳): مقایسه طرح ناوبری سنتی و مبتنی بر عملکرد [۱].

از مزایای PBN می‌توان به طراحی طرح‌های پروازی مستقیم و کوتاه اشاره کرد، که با این طراحی می‌توان ظرفیت ورود به فرودگاه‌ها را بهبود بخشید و بهره‌وری کنترل‌کننده را افزایش داد. همچنین، استفاده از این طرح موجب کاهش مصرف سوخت و مدت زمان پرواز خواهد شد. همان‌طور که قبلاً بیان شد، سامانه‌های ناوبری ماهواره‌ای از تمامی عملیات PBN به طور پیوسته پشتیبانی می‌کنند [۶]. اما تنها مشکلی که وجود دارد این است که اگر ماهواره‌ها دچار اختلال شوند، سیستم‌های ناوبری هوایی فعلی نمی‌تواند پاسخگوی تقاضا و الزامات بوده و عملکرد مورد انتظار را ارائه دهند. در این مقاله به بررسی فناوری‌هایی برای حفظ ایمنی و اطمینان از پیوستگی عملیات PBN در محیط‌های عملیاتی در هنگام وقوع یک رویداد تداخل در خدمات GNSS و عدم دریافت سیگنال از آن‌ها می‌پردازیم و راه‌کار مناسبی برای رفع این مشکل ارائه خواهیم نمود.

۲- تشریح مسئله

اجرای PBN در حال حاضر بالاترین اولویت ناوبری هوایی جامعه هوانوردی جهانی است. ناوبری سنتی براساس سیستم‌های کمک‌ناوبری زمینی عمل می‌کند، اما PBN براساس سیستم‌های اویونیکی هواپیما و عملکرد عمل می‌کند. بنابراین، اجرای طرح‌های RNP/RNAV بدون تجهیز هواپیما به برخی از سیستم‌های پیشرفته اویونیکی امکان‌پذیر نیست [۱، ۶]. یکی از سیستم‌هایی که در رسیدن به این رویکرد نقش مهمی را ایفا می‌کند، سیستم مدیریت پرواز[1] است. این سیستم می‌تواند ناوبری هواپیما را با بهترین طرح پروازی از زمان بلند شدن تا نشستن محاسبه و با ارسال اطلاعات به خلبان خودکار آن را اجرایی نماید و امکان پرواز اتوماتیک را فراهم کند.[۷] هر سیستم FMS از دو واحد تشکیل شده است.که عباتند از:

کامپیوتر مدیریت پرواز[2]: اساس کار یک سیستم مدیریت پرواز، FMC آن است. FMC شامل مخزن اطلاعاتی بنام دیتا بیس[3] است که در این حافظه اطلاعات مربوط به تمام مسیرهای پروازی، شکل بال و بدنه هواپیما نوع موتور هواپیما در آن ذخیره‌سازی شده و هر ۲۸ روز یک بار این اطلاعات بروز می‌شوند [۹-۷].

سیستم نمایشگر همراه با صفحه کلید[4]: CDU دارای یک صفحه کلید جهت وارد کردن اطلاعات و یک نمایشگر جهت مشاهده اطلاعات است. در واقع رابط بین خدمه پروازی و FMC ها جهت مدیریت پرواز است. شکل **۴** نشان‌دهنده این سیستم است [۹-۷].

شکل (۴): سیستم نمایشگر همراه با صفحه کلید [۸].

1. Fight Management System (FMS)

2. Flight Management Computer (FMC)
3. Data Base
4. Controll Display Unit (CDU)

به طور خلاصه سیستم FMS دارای توابع[5] زیر است:

عملکرد: ارتفاعی که در آن کم‌ترین زمان پرواز و کم‌ترین مصرف سوخت را خواهیم داشت، محاسبه می‌کند [۷].

هدایت: در این حالت موقعیت هواپیما در هر لحظه محاسبه شده و این موقعیت با برنامه پرواز مقایسه می‌شود که در صورت وجود اختلاف بین دو مقدار، فرامین لازمه جهت تصحیح داده می‌شود [۷].

ناوبری: این تابع با استفاده از اطلاعاتی نظیر ارتفاع هواپیما، جهت، شتاب، سرعت هواپیما و زمان که به FMS می‌رسد، موقعیت هواپیما را در هر لحظه به دست می‌آورد. به کمک این موقعیت‌ها مسیر موردنظر تعیین و دنبال می‌شود [۷].

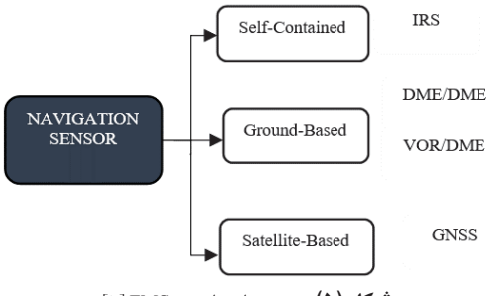
سیستم تجهیزات الکترونیکی پرواز[6]: در تمامی طول مسیر، اطلاعات و موقعیت هواپیما نسبت به مسیر از پیش تعیین شده در نشان‌دهنده‌های ناوبری EFIS قابل مشاهده بوده و در صورت انحراف از مسیر رایانه آن را متوجه و ضمن انجام اقدام اصلاحی به اطلاع خلبان نیز می‌رساند [۷].

۲-۱- حسگر ناوبری FMS

همان‌طورکه بیان شد برای استفاده از طرح‌های PBN در گیرندهٔ FMS هواپیماها، چندین سنسور ورودی در نظر گرفته شده است که به‌طور خودکار موقعیت‌های هواپیما را از طریق داده‌های ورودی یک یا ترکیبی از سنسورها در صفحهٔ افقی تعیین می‌نماید [۷]. سنسورهای ناوبری این سیستم مطابق شکل **۵** عبارتند از:

۱) DME/DME،
۲) VOR/DME،
۳) IRS[7] و
۴) GNSS،

که در ادامه به بررسی و شرح نحوه عملکرد هر یک پرداخته می‌شود.



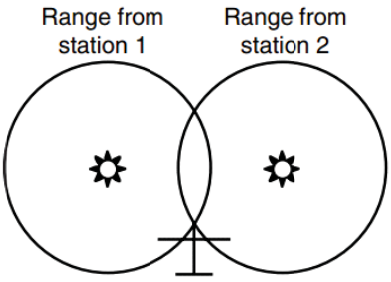
شکل (۵): سنسورهای ناوبری FMS [۱].

۲-۱-۱- GNSS

برای تعیین موقعیت توسط ماهواره‌ها لازم است که گیرنده حداقل چهار ماهواره را رؤیت کند. با دریافت سیگنال از ماهواره‌ها چهار مجهول طول و عرض و ارتفاع و زمان به دست می‌آید. تعیین موقعیت توسط گیرنده براساس تعیین فاصله آن تا ماهواره‌ها به دست می‌آید و اختلاف زمان ارسال سیگنال از ماهواره و زمان دریافت سیگنال توسط گیرنده فاصله گیرنده تا ماهواره را تعیین می‌کند. داده‌های مربوط به GNSS به‌طور معمول قبل از اینکه برای تعیین موقعیت و محاسبه سرعت استفاده شود، از نظر صحت و دقت مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. متداول‌ترین تکنیک استفاده شده در این زمینه آر-ای-آی-ام[8] است که در آن امکان شناسایی و حذف خطا[9] در مورد ماهواره دارای خطای غیرمجاز و حذف آن در تعیین موقعیت و ناوبری وجود دارد. این روش فقط از اطلاعات GNSS استفاده می‌کند. برای اجرای این روش لازم است که حداقل پنج یا شش ماهواره توسط گیرنده رؤیت شود. ماهواره‌های قابل رؤیت به گروه‌های چهارتایی تقسیم می‌شوند. سپس، سیستم موقعیت خود را توسط گروه‌ها به دست آورده و با هم مقایسه می‌نماید. اگر اختلاف موقعیت‌های به دست آمده ناچیز نباشد، به معنای آن است که حداقل یک ماهواره در آن‌ها سیگنالش معیوب است. پس از مشخص شدن ماهواره معیوب، سیستم به گیرنده GNSS بلافاصله اعلام می‌کند که ماهواره معیوب وجود دارد و کدام است تا از آن استفاده نکند [۲، ۵، ۷].

۲-۱-۲. DME/DME

در این حالت FMS موقعیت افقی (عرض جغرافیایی و طول جغرافیایی) را با فاصله از دو ایستگاه DME(DME/DME) محاسبه می‌کند (شکل **۶**). که در بخش‌های بعدی به‌طور کامل بررسی می‌شود [۷، ۱۱-۱۰].



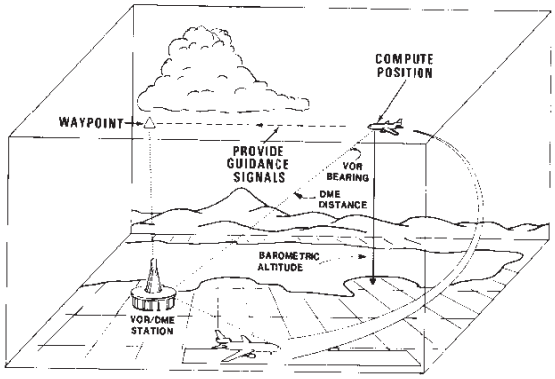
شکل (۶): DME/DME [۷].

5. Function
6. Electronic Flight Instrument System (EFIS)
7. Inertial Referente System

8. Receiver Autonomous Integrity Monitoring (RAIM)
9. Fault Detection and Exclusion (FDE)

VOR/DME -۳-۱-۲

در این حالت FMS از بیرینگ[10] و فاصله ایستگاه VOR/DME برای تعیین موقعیت خود استفاده می‌کند (شکل **۷**). از این حالت در مناطقی که تراکم سیستم‌های کمک ناوبری برای حالت DME/DME کافی نیست، استفاده می‌کند. نکته قابل توجه استفاده از VOR/DME به‌عنوان یک سنسور ورودی FMS این است که مبنای آن استفاده از سیستم‌های ناوبری زمینی بوده و بنابراین انعطاف‌پذیری مسیرهای پروازی از بین می‌رود. در واقع مسیرهای پروازی از پویا[11] به ایستا[12] (ایستگاه به ایستگاه یا همان ناوبری سنتی) تبدیل می‌شود [۷، ۱۱].



شکل (۷): VOR/DME [۱].

IRS -۴-۱-۲

سامانهٔ IRS یک روش ناوبری کاملاً مستقل برای هدایت هواپیما است. این سیستم موقعیت و جهت را با اندازه‌گیری شتاب و زاویهٔ چرخش بر مبنای لَختی تعیین می‌کند. اساس عملکرد این دستگاه به این صورت است که اگر یک موقعیت اولیه جهت مبنا برای سیستم تعیین شود، از آن به بعد هر حرکت و تغییر مسیری دنبال شده و تغییرات نسبی موقعیت را نسبت به نقطه مرجع محاسبه می‌کند. سیستم IRS شامل دو بخش مرجع اینرسی است که وظیفه اصلی آن‌ها تشخیص و محاسبه شتاب و سرعت تغییر جهت محورهای مختلف هواپیما است. هر IRS دارای سه ژیروسکوپ لیزری و سه شتاب‌سنج است که به ترتیب سرعت‌های زاویه‌ای و شتاب خطی را محاسبه می‌کنند. اطلاعات اندازه‌گیری شده با اطلاعات هواشناسی ترکیب شده و مقادیر موقعیت (در جهت طولی و عرضی)، وضعیت محورهای اصلی هواپیما (دوران حول سه محور عمودی[13]، عرضی[14] و طولی[15])، جهت واقعی و مغناطیسی دماغهٔ هواپیما، سرعت و جهت باد، سرعت، شتاب، سرعت زاویه‌ای، ارتفاع محاسبه می‌شود [۴-۲]. یکی از معایب IRS این است که در مسافت‌های کوتاه دقیق و کارآمد است، اما در مسافت‌های طولانی دارای انحراف داشته و از دقت آن کاسته می‌شود [۷، ۱۲].

لازم به ذکر است ماهواره‌های GNSS به‌عنوان سنسور اصلی عمل می‌کنند، زیرا بیش‌ترین دقت و صحت را دارند. سیستم‌های کمک‌ناوبری به‌عنوان دومین سنسور با کیفیت بالا عمل می‌کنند. درصورت عدم امکان استفاده از سیگنال‌های ماهواره‌ای، سیستم مدیریت پرواز به صورت خودکار سنسور در تقدم پایین‌تری (مانند DME/DME یا VOR/DME) را انتخاب می‌کند. اگر سیستم‌های کمک‌ناوبری نیز موجود نباشد، FMS برای ناوبری از سیستم IRS استفاده می‌کند [۱۰-۷]. اگر FMS تنها بر IRS متکی باشد، فقط برای یک مدت زمان محدود در مسیر یا طرح قابل استفاده است و پس از آن دقت خود را از دست می‌دهد. این امر به علت عامل انحراف ذاتی[16] در سیستم IRS است [۱۲]. مقدار دقیق زمانی که سیستم IRS استفاده می‌شود، طبق سند ۸۱۶۸ حداکثر زمان پرواز که برای فازهای مختلف پرواز قابل قبول است، در جدول **۴** آمده است.

جدول (۴): حداکثر زمان‌های پرواز تحت سنسور IRS [۱۲].

Flight phase	Time (min)
En route	50
TMA	25
Approach	12

در صورتی که هواپیما، سامانه ناوبری IRS نداشته باشد، روش ناوبری کور[17] باید مدنظر قرار گیرد [۷]. اغلب سامانه‌های مدرن RNAV به ورودی‌های GNSS و سپس DME/DME حق تقدم می‌دهند. برای سامانه‌های تک سنسور GNSS، نقص سنسور ممکن است منجر شود عملیات بر مبنای سیستم‌های ناوبری سنتی انجام پذیرد که در این صورت به جای استفاده از

10. Bearing
11. Daynamic
12. Static

13. Yaw
14. Pitch
15. Roll
16. Drift
17. Dead Reckoning

مسیرهای پروازی پویا و انعطاف‌پذیر باید از مسیرهای پروازی استاتیک استفاده نمود. این امر باعث افزایش مدت زمان پرواز، مصرف سوخت زیاد و در نهایت آلایندگی محیط زیست می‌شود [۱].

سامانهٔ GNSS محدودیت‌هایی دارد که بخشی از این محدودیت‌ها عمومی بوده و به خصوصیات ذاتی این فناوری مربوط می‌شود. بعضی دیگر مختص ایران و کشورهای در وضعیت سیاسی و اقتصادی می‌باشد. برخی از این محدودیت‌ها عبارتند از: محدودیت‌های اقتصادی، امنیتی، عملیاتی، خطای انسان و عدم سازگاری با زیرساخت قبلی که می‌توانند مشکلاتی را برای هواپیمایی کشوری ایجاد کنند. مهم‌ترین دلیل ریسک استفاده از سیستم‌های GNSS در ایران قطع سرویس ناوبری ماهواره‌ای به دلایل سیاسی از سوی کشور ارائه‌دهنده سرویس مربوطه است. ریسک‌های دیگر آن محدودیت در تهیه و نصب تجهیزات ناوبری و سیستم‌های الحاقی مناسب در هواپیما و فرودگاه است. بنابراین، با توجه به موقعیت کشور و بحث تحریم‌ها، استفاده از GNSS و متکی بودن به این سامانه ممکن است ما را دچار مشکل کند.[۱] برای متکی نبودن به سیستم‌های ماهواره‌ای و همچنین امکان طراحی مسیرهای بر مبنای PBN در فضای کشور و اطمینان از وضعیت پوشش و افزایش ایمنی پروازها با توجه به نبود سیگنال‌های ماهواره‌ای و همچنین توانایی استفاده از FMS در هر لحظه و شرایط، ایران به سمت استفاده از سنسور DME/DME به‌عنوان جایگزین و پشتیبان سیستم‌های ماهواره‌ای رفته است. این یک سیستم متکی به تجهیزات زمینی است که خوشبختانه در اکثر فرودگاه‌های کشور این پوشش وجود دارد و اطلاعات موقعیت را در اختیار خلبان قرار می‌دهد. در ادامه، ابتدا شرح کلی از سیستم DME و سپس به بررسی نحوه عملکرد و پیاده‌سازی سنسور DME/DME پرداخته می‌شود.

۲-۲- شرح سیستم DME

DME یکی از چندین سامانه ناوبری است که براساس مستندات ایکائو مورد تائید جهت هدایت هواپیماهای مسافربری و ترابری است. سامانه DME برای تعیین موقعیت هواپیما در فضا از دستگاه مختصات قطبی تبعیت می‌نماید [۲]. به طور خلاصه این سیستم دارای مشخصات زیر است [۲]:

- نوع مدولاسیون AM،
- باند فرکانسی UHF،
- فرکانس کد شناسایی ۱۳۵۰ هرتز،
- پلاریزاسیون عمودی،
- دارای ۲۵۶ کانال رادیویی با فاصله کانالی ۱ مگاهرتز و
- پالس‌های مورد استفاده از نوع گوسین[18].

ویژگی‌های این سیستم عبارتند از:

دقت: بر طبق مستندات انکس ۱۰ مقدار دقت عملکرد[19] دستگاه DME بایستی ۳ درصد ماکزیمم فاصله‌ای که می‌توان با سیستم DME اندازه‌گیری نمود باشد که تقریباً برابر ۰/۲۵ ناتیکال مایل است [۲]،

محل نصب: این سیستم در فرودگاه در مسیر تقرب[20] یا انصراف از تقرب[21] به منظور ارائهٔ فاصلهٔ نقطهٔ فرود باند به هواپیما و یا در راه‌های هوایی به منظور ارائه فاصله تا آن نقطه نصب می‌شود [۲]،

پوشش[22]: به علت خاصیت وضعیت دید[23] بودن سیگنال UHF پوشش DME بستگی به ارتفاع و موقعیت هواپیما دارد، که حدود ۲۰۰ ناتیکال مایل برد معقول یک ایستگاه DME است [۲] و

اساس کار: این سیستم براساس ارسال سیگنال سؤال از طرف هواپیما (پرسش‌کننده)[24] به سمت ایستگاه زمینی (پاسخ‌دهنده)[25] DME عمل می‌کند. به این صورت که هواپیما سیگنال سؤال را ارسال می‌کند، گیرنده سیستم زمینی سیگنال سؤال را دریافت کرده و پس از ۵۰ میکرو ثانیه تأخیر و اختلاف فرکانسی ۶۳ مگاهرتز سیگنال پاسخ را ارسال می‌نماید. هواپیما با دریافت پاسخ و محاسبه سرعت رفت و برگشت امواج الکترومغناطیسی در هوا و احتساب ۵۰ میکروثانیه تأخیر از رابطهٔ (۲) مبادرت به تعیین فاصله هواپیما از ایستگاه زمینی می‌نماید. با محاسبه فاصلهٔ زمانی رفت و برگشت در بخش FMS فاصله بر حسب ناتیکال مایل و به صورت دامنه مورب[26] به خلبان ارائه خواهد شد [۲]. این محاسبات از طریق روابط ۱ و ۲ به دست می‌آید [۲].

18. Gassian
19. Accuracy
20. Approach
21. Missed Approach
22. Coverage
23. Line of Sight (LOS)
24. Interrogator
25. Transponder
26. Slant Range

$$X = V \times T \rightarrow 1852m \times (1NM) = 3 \times 10^8 \times \frac{T}{2} \rightarrow T = 12.35\mu s \quad (۱)$$

$$D = \frac{1NM \times (T - 50\mu S)}{12.35\mu S} \quad (۲)$$

در این روابط، T زمان رفت و برگشت سیگنال و D فاصله است.

۲-۳- شرح سیستم DME/DME RNAV

با استفاده از این سامانه عملیات پرواز بدون افزایش قابل توجهی در حجم کار برای خلبان یا ارائه‌دهنده خدمات ناوبری هوایی[۲۷] در طول یک رخداد مانند تداخل در سیگنال‌های GNSS ادامه دارد. طرح‌های تقرب RNAV بر مبنای سنسور DME/DME، طرح‌های تقرب غیردقیق[۲۸] هستند. در این مقاله معیارهای طراحیDME/DME RNAV برای RNAV 1 و RNAV 5 ارائه خواهد شد. این معیارها برای طرح‌های RNP مناسب نیستند. جایی که سنسور DME/DME برای پشتیبانی از طرح‌های RNP مورد استفاده قرار می‌گیرد، باید معیارهای اولیه RNP1و RNP APCH را به صورت مناسب استفاده کرد [۱۱].

۲-۳-۱- الزامات هواپیما و تجهیزات زمینی برای طرح‌هایDME/DME

مفروضات استاندارد برای تجهیزات هواپیمایی و زمینی که براساس طرح‌های DME/DME است، به شرح زیر است [۶، ۱۱-۱۲]:

۱- مختصات ایستگاه DME براساس WGS-84 و ارتفاع آن بر مبنای ارتفاع از سطح دریا[۲۹] مشخص شود (جایی که DMEبا VOR، کالکت[۳۰] نمی‌شود، محل و ارتفاع DME باید جداگانه در اطلاعات هوانوردی منتشر شده[۳۱] عنوان شود)،

۲- تجهیزات هواپیما می‌بایستی مطابق با راهنمایی‌های توصیه شده توسط ایکائو در سند ۹۶۱۳ باشد،

۳- تجهیزات زمینی مطابق با معیارهای مندرج در ضمیمه انکس ۱۰ ایکائو است و خطا نباید بیش از ۰/۱ ناتیکال مایل، در ۹۵ درصد مدت زمان پرواز باشد،

۴- اگر تنها دو ایستگاه DME در دسترس باشد، هواپیما باید با حداقل یک FMC قادر به ناوبری با سنسور DME/DME که برای عملیات مانور ترمینال[۳۲] تأیید شده، باشد. همچنین، هواپیما باید توانایی اتوماتیک برای استفاده از ناوبری با سنسور IRS را داشته باشد،

۵- اگر بیش از دو ایستگاه DME در دسترس باشد، هواپیما باید با حداقل یک FMC قادر به ناوبری با سنسور DME/DME که برای عملیات در TMA تأیید شده، باشد و نیازی به مجهز بودن هواپیما به استفاده اتوماتیک از ناوبری با سنسور IRS نیست،

۶- باید اطلاعات ناوبری که حاوی طرح‌های پروازی، مختصات تهیه شده نقاط راهنما[۳۳] های مسیر پروازی براساس الزامات WGS-84، سرعت و همچنین محدودیت‌های عمودی، به طور خودکار در برنامه پرواز FMC بارگیری شود و

۷- سامانه DME/DME RNAV باید به‌طور پیوسته توانایی به‌روزرسانی اطلاعات موقعیت هواپیما را در ۳۰ ثانیه از تنظیم تجهیزات ناوبری DME و تنظیم خودکار DMEهای متعدد توسط FMS داشته باشد. به عبارت دیگر، محدودهٔ DME باید برای مدت زمان کافی در دسترس باشد تا بتوان انتظار داشت که FMS یک موقعیت را ارائه دهد که این زمان ۳۰ ثانیه است.

۲-۳-۲- نحوهٔ به دست آمدن موقعیت (طول و عرض جغرافیایی) توسط DME/DME

سامانهٔ DME برای تعیین موقعیت هواپیما در فضا از دستگاه مختصات قطبی (R,θ) که حالت خاصی از دستگاه مختصات کروی است، تبعیت می‌نماید و کار تعیین فاصله (R) را انجام می‌دهد. بنابراین، فاصله تعیین شده توسط این سامانه بدین معنی است که هواپیما روی سطح یک کره به مرکز ایستگاه DME و شعاعی برابر فاصله اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه DME، قرار دارد. حال اگر سیستم سوال‌کننده هواپیما از دو یا چند ایستگاه DME با موقعیت معلوم فاصله را پرسش کند، موقعیت مجهول هوپیما (طول و عرض جغرافیایی) با روش‌های مثلثاتی محاسبه می‌شود [۱، ۷، ۱۰].

۲-۳-۳- پوشش

هنگامی که از سنسور DME/DME برای به‌روزرسانی اطلاعات موقعیت هواپیما استفاده می‌شود، تنها در حالتی به‌روزرسانی صورت می‌گیرد که زاویهٔ تقاطع بین دو کمان

27. Air Navigation Service Provider (ANSP)
28. Non-precision
29. Above Mean Sea Level (AMSL)
30. Collocate
31. Aeronautical Information Publication (AIP)
32. Terminal Manoeuvring Area (TMA)
33. Waypoint

فاصله‌های تعیین شده توسط ایستگاه DME و هواپیما بین ۳۰ و ۱۵۰ درجه باشد (شکل **۸**) [۱۱]. منطقهٔ به‌روزرسانی اطلاعات موقعیت هواپیما توسط DME/DME RNAV برای دو ایستگاه DME که در فاصله D از یکدیگر قرار گرفتند (شکل **۹**)، طبق مراحل زیر به دست می‌آید [۱۱]:

۱- ابتدا به مرکز هر DME دایره‌ای به شعاع پوشش عملیاتی تعیین شده[۳۴] که معادل با ماکزیمم پوشش سیستم (۲۰۰ ناتیکال مایل) است، رسم می‌شود،

۲- سپس دو دایره با شعاع D که از هر دو ایستگاه می‌گذرد مطابق شکل **۹** رسم می‌شود. (تنها در این دو دایره شرط زاویه پوششی ۳۰ تا ۱۵۰ درجه برقرار است)،

۳- برای هر ایستگاه مناطق به‌روزرسانی نشده[۳۵] که دایره‌هایی به شعاع ۱/۸۵ کیلومتر (۱ ناتیکال مایل) به مرکز ایستگاه DME است رسم می‌شود و

۴- در نهایت مناطق محروم از پوشش DME/DME و مناطقی که توسط هر دو DME به‌روزرسانی اطلاعات موقعیت هواپیما را داریم (مناطق هاشور خورده شکل **۹**) مشخص می‌شود.

محدودیت‌های اعمال شده در پوشش عملیاتی در ادامه توضیح داده شده‌اند.

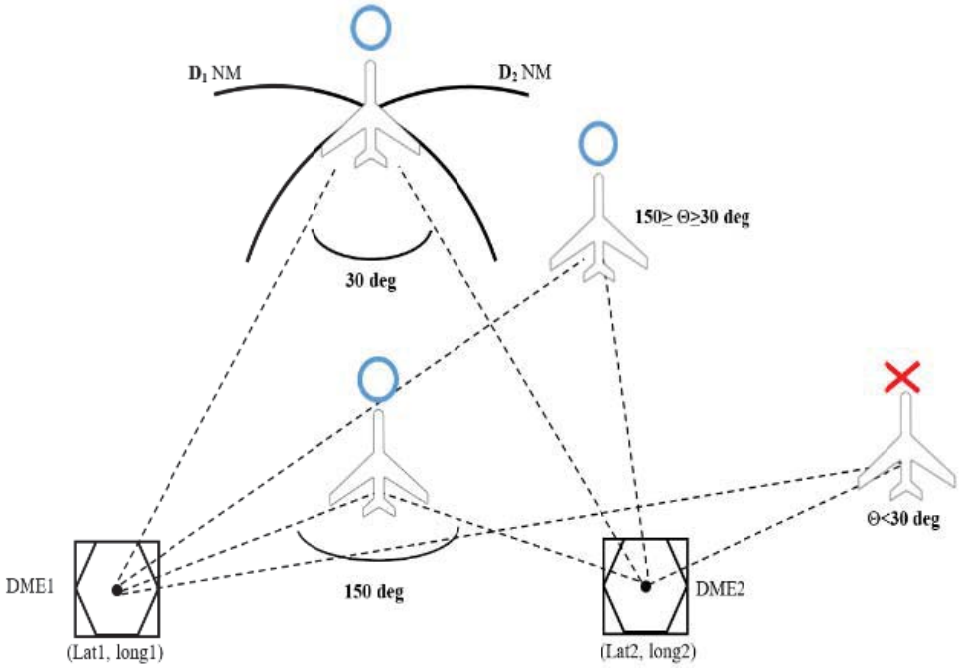
محدودیت‌های FMS: هنگامی که FMS جهت هدایت پرواز از تجهیزات DME برای اجرای RNAV استفاده می‌کند، مستقل از پوشش DOC منتشر شده، تنها از سیگنال‌های DME موجود در فواصل بین ۳ ناتیکال مایل تا ۱۶۰ ناتیکال مایل و زاویهٔ زیر ۴۰ درجهٔ بالای افق از دید دستگاه ناوبری استفاده می‌کند. در غیر این صورت آن را حذف می‌کند [۱۱-۱۰].

تجهیزات DME کالکت‌شده ILS: برخی از سیستم‌های RNAV از تجهیزات DME که با ILS، callocate شده را استفاده نمی‌کنند. تا حدودی به این دلیل است که با توجه به موقعیت‌های نصب ممکن است آفست‌هایی[۳۶] داده شود که این آفست‌ها برای استفاده از طرح‌های RNAV بر مبنای این سنسور محدودیت ایجاد کند. آفست همان تنظیمات اولیه که بر روی سیستم هنگام راه‌اندازی انجام می‌گیرد، است. همچنین، توان پایین DME هنگام کالکت شدن با ILS. بنابراین، در طرح‌های پروازی بر مبنای سنسور DME/DME به کار نمی‌روند و باید از ارزیابی زیرساختارهای آن کنار گذاشته شوند [۱۰].

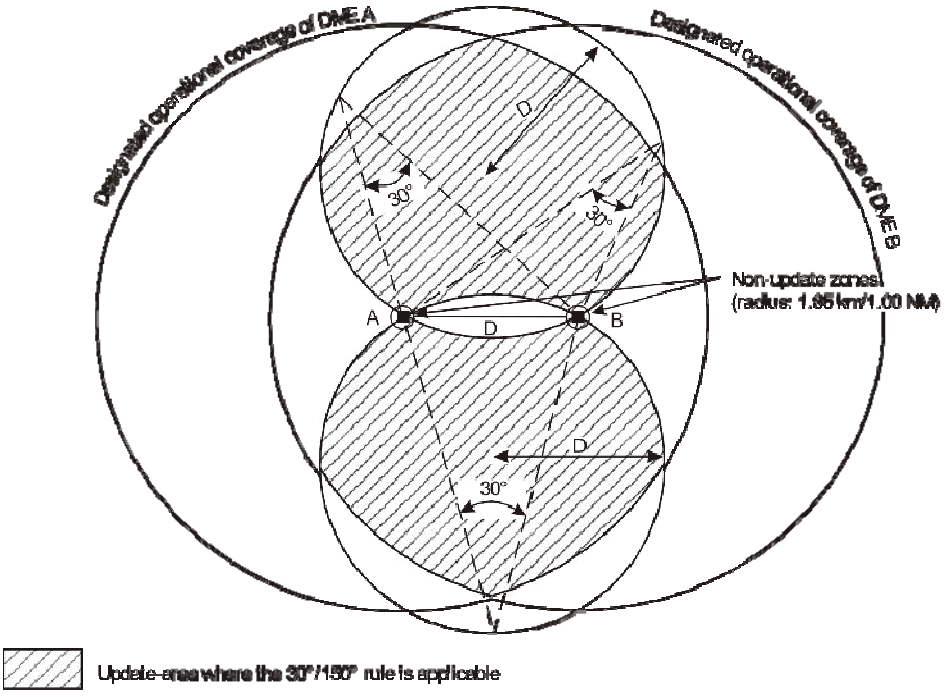
شکاف[۳۷] DME: در مناطقی که از DME برای به‌روزرسانی اطلاعات موقعیت هواپیما استفاده می‌شود، شکاف‌های پوششی دستگاه DME در این مقوله تأثیرگذار خواهد بود. اگر تعداد کافی از ایستگاه‌های جفت شده DME (جهت ایجاد DME/DME) برای پشتیبانی از طرح‌های RNAV وجود نداشته باشد، آنگاه یک شکاف در پوشش DME/DME RNAV خواهیم داشت (شکل **۱۰**) [۱۰]. چنین منطقه‌ای باید در AIP منتشر شود. در این نواحی هواپیماهایی که اجرای طرح‌های RNAV آن تنها بر مبنای سنسور DME/DME است، اجازه پرواز ندارند. هواپیماهایی که مجهز به INS، IRS، GNSS و VOR/DME هستند، می‌توانند بر روی شکاف‌های پوشش DME پرواز کنند. لازم به ذکر است تنها در صورتی که VOR/DME در فاصله ۷۵ ناتیکال مایلی از DME GAP باشد، می‌توان از آن برای به‌روزرسانی موقعیت استفاده کرد (شکل **۱۱**) [۶]. هنگامی که هیچ کدام از سنسورهای موجود نباشد، روش ناوبری کور (بدون هیچ گونه نیازی به سنسورها) مجاز به استفاده است. جایی که چنین اتفاقی می‌افتد، باید عرض مسیر و سطوح جدایی از موانع مسیر در حین پرواز در نواحی که تحت پوشش دستگاه‌های کمک‌ناوبری نیست افزایش یابد. بدین صورت که منطقه حفاظت شده باید ۱۵ درجه در هر طرف مسیر، از لبهٔ منطقهٔ اولیه در نقطه‌ای که پوشش در دسترس نیست، پدیدار شود. فاصلهٔ مسیر در خارج از پوشش نباید بیش از ۱۹ کیلومتر (۱۰ ناتیکال مایل) باشد [۱۱-۱۰].

DME بحرانی[۳۸]: وجود یک سیستم DME زمانی بحرانی است که عدم استفاده آن، اجرای طرح‌های RNAV بر مبنای سنسور DME/DME را غیرفعال کند. جهت ارزیابی زیرساخت‌ها باید تعداد تجهیزات بحرانی DME که از طرح‌های پروازی پشتیبانی می‌کنند را شناسایی نمود. بدین منظور اگر تنها یک جفت DME واجد شرایط وجود دارد، هر دو ایستگاه DME آن بحرانی در نظر گرفته می‌شود. همچنین، اگر یک DME خاص در لیست تمام جفت‌های DME مشترک باشد، آن DME نیز بحرانی است (شکل **۱۲**) [۱۰].

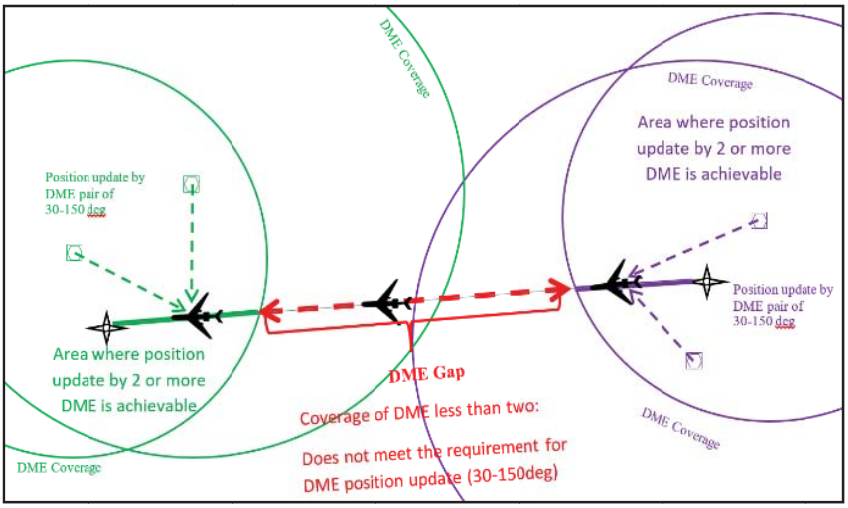
34. Designated Operational Coverage (DOC)
35. Non-update
36. Offset
37. Gap
38. Critical



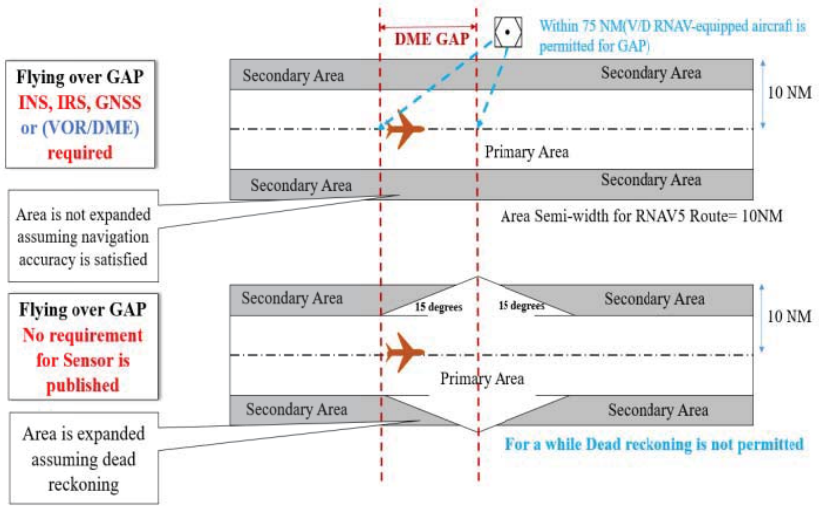
شکل (۸): محدوده مجاز زاویه تقاطع دو ایستگاه DME [۱].



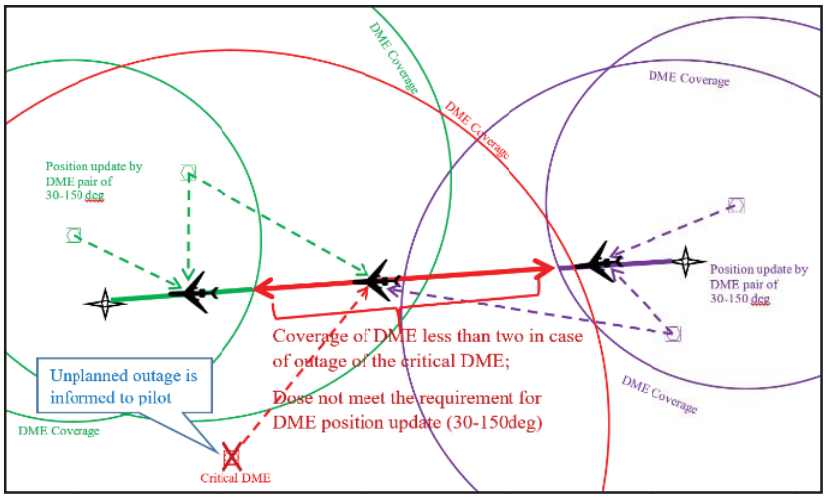
شکل (۹): پوشش DME/DME [۱۱].



شکل (۱۰): شکاف DME [۱].



شکل (۱۱): الزامات پرواز بر روی شکاف‌های DME [۱].

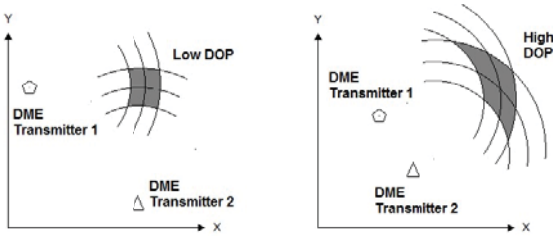


شکل (۱۲): DME بحرانی [۱].

۲-۳-۴- دقت

دقت ناوبری برای تعیین فاصله عرضی مسیر و حداقل جدایی برای ترافیک‌های پروازکننده در یک مسیر مشخص است [۶]. علاوه بر حصول اطمینان از وجود پوشش کافی DME، دقت نیز باید در نظر گرفته شود. بحث در مورد دقت بر روی ترکیب سیگنال‌های ارائه شده توسط زیرساخت‌های زمینی DME متمرکز می‌شود. این سیگنال‌ها باید الزامات دقت را در تمامی نقاط تعریف شده در طرح پروازی RNAV را داشته باشد. درحالی‌که الزامات دقت برای سیگنال‌های یک ایستگاه DME در فضا برای پشتیبانی از RNAV مطابق با الزامات دقت موجود در انکس ۱۰ ایکائو است و دقت DME/DME براساس استانداردهای TSO-C66C و الزامات سند ۸۱۶۸ است [۱۰-۱۱].

در ناوبری مبتنی بر سیستم‌های DME/DME، مختصات قرارگیری ایستگاه‌ها بر دقت موقعیت تأثیر می‌گذارد. هر چه دو ایستگاه به یکدیگر نزدیک‌تر باشند، خطا بیشتر می‌شود (شکل **۱۳**). در صورت دور بودن دو ایستگاه DME از همعدم قطعیت موقعیت[1] کوچک (تعدیل دقت پایین[2]) و هنگام بسیار نزدیک بودن دو ایستگاه DME به هم، عدم قطعیت موقعیت زیاد (تعدیل دقت بالا[3]) است [۱۳].



شکل (۱۳): عدم اطمینان موقعیت گیرنده بسته به هندسه ایستگاه‌ها [۱۳].

۲-۳-۵- اعتبارسنجی

اعتبارسنجی زیرساختارهای ناوبری، پیش‌بینی کارآیی و ارزیابی کفایت آن‌ها براساس مدل‌سازی صورت می‌گیرد. هر چند در صورت لازم باید تست‌های پروازی (فلایت چک) استفاده شود. زیرا هیچ گونه مدل‌سازی نمی‌تواند به درستی پیش‌بینی کند که سیگنال در فضا در همه شرایط چگونه ظاهر خواهد شد. به خصوص در ارتفاعات پایین، که اثرات نامطلوب ناشی از بازتاب و سایه[4] ممکن است وجود داشته باشد [۱۱].

۲-۳-۶- استفاده از ابزارهای نرم‌افزاری جهت ارزیابی زیرساخت‌های ناوبری

برای ارزیابی زیرساخت‌های RNAV باید ابزار مناسب به کار رود. درحالی‌که می‌توان این ارزیابی را با استفاده از تحلیل دستی و بازرسی پرواز انجام داد، استفاده از یک ابزار نرم‌افزاری به منظور کارآمدتر کردن ارزیابی توصیه می‌شود. به‌طورکلی، ابزارهای ارزیابی RNAV باید شامل یک مدل ناحیه سه بعدی با وضوح و دقت کافی باشد تا امکان پیش‌بینی LOS از سیستم‌های کمک ناوبری را در طول یک طرح پروازی، شامل تجزیه و تحلیل از زوایا و انواع محدودیت‌های پوششی مربوط به آنها باشد. در ادامه به بررسی و معرفی یکی از این نرم‌افزارها که ارائه شده توسط سازمان بین‌المللی یوروکنترل[5] است، می‌پردازیم [۱۰].

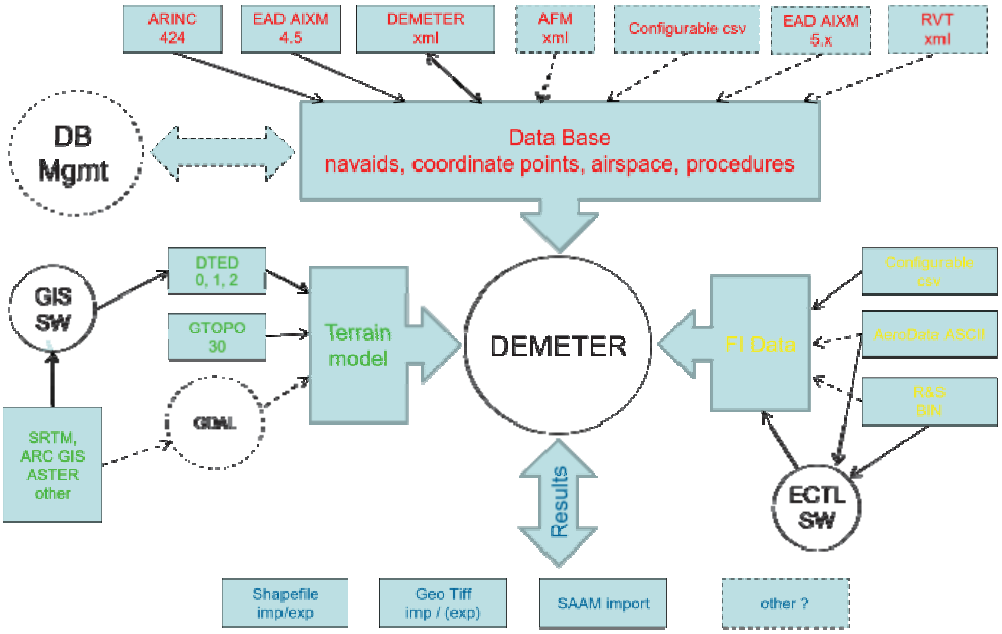
نرم‌افزار ارزیابی زیرساخت ناوبری (دیمتر)[6]

نرم‌افزاری است که به ارائه‌دهندگان خدمات اجازه می‌دهد تا حداقل زیرساخت ناوبری لازم را تعیین کنند و از پیاده‌سازی ناوبری مبتنی بر عملکرد و برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی زیرساخت‌های ناوبری پشتیبانی می‌کند. DEMETER از یک پایگاه داده زمینی برای تعیین پوشش استفاده می‌کند (شکل **۱۴**) و نتایج را با ارزیابی معیارهای RNAV مطابق با دستورالعمل ناوبری مبتنی بر عملکرد ایکائو[7] پردازش می‌کند [۱].

این نرم‌افزار همکاری ساده‌ای را بین برنامه‌ریزان حریم هوایی، طراحان طرح پروازی، مهندسین ناوبری و بازرسان پرواز برای ایجاد موقعیت‌یابی به‌وسیله سنسور DME/DME که یک پشتیبان زمینی برای GNSS است، را فراهم می‌کند. DEMETER برای ارزیابی عملکرد فضایی، سیگنال DME/DME در راه‌های هوایی[8] و TMA طراحی شده است. همچنین، می‌تواند برای تعیین زیرساخت‌های زمینی مورد نیاز برای پشتیبانی از برنامه‌های ناوبری منطقه‌ای مورد استفاده قرار گیرد [۱].

1. Position Uncertainty
2. Low Dilution of Precision
3. High Dilution of Precision

4. Shading
5. EUROCONTROL
6. Distance Measuring Equipment Tracer (DEMETER)
7. ICAO PBN Manual
8. En-route



شکل (۱۴): رابط دیمتر [۱].

۲-۳-۷- فرآیند ارزیابی زیرساخت‌های DME/DME

طراحی یک مسیر هوایی براساس ناوبری کارایی محور، با توجه به زیرساخت‌های دستگاه‌های کمک‌ناوبری موجود در آن مسیر هوایی است. باید توجه داشت که زیرساخت‌های ناوبری بر کارآیی تجهیزات ناوبری هواپیماها تأثیرگذار خواهد بود. حتی اگر الزامات مربوطه جهت تجهیزات ناوبری هواپیماها براساس RNAV1 و RNAV 5 منطبق باشد، این بخش فرایندی را توصیف می‌کند که باید به منظور ارزیابی اینکه آیا زیرساخت DME/DME RNAV مطابق با الزامات مشخص شده در قسمت‌های قبلی است، مورد بررسی قرار گیرد [۱۰]. این فرآیند در شش مرحله انجام می‌شود. اگر هر گونه محدودیت شناسایی شود که کاهش آن تأثیری بر طرح پروازی پیش‌بینی شده داشته باشد، مراحل این فرآیند ممکن است نیاز به تکرار داشته باشند. همچنین، توصیه می‌شود که مراحل ۴-۲ و ۶ با پشتیبانی نرم‌افزارها انجام شود. این مراحل عبارتند از:

مرحله اول- جمع‌آوری داده‌های ورودی

مهندس ANSP می‌بایستی تمام اطلاعات مربوط به طراحی طرح‌های پروازی و همچنین اطلاعات مربوط به برنامه‌ریزی فضای هوایی منطقه مورد نظر را داشته باشد. این اطلاعات شامل تمام مختصات نقاط راهنما، خطوط هوایی و هر گونه محدودیت‌های هدایت عمودی (شامل حداقل شیب صعود، حداقل ارتفاع عبور در مسیرهای پروازی متقاطع، دسته‌بندی نرخ سرعت انواع پروازها و موارد دیگر)، offset، مستقیم یا موارد دیگر ملزومات عملیاتی و همچنین رعایت مرزهای مربوط به مناطق ممنوعه می‌شود [۱۰].

مرحله دوم- شناسایی تجهیزات واجد شرایط DME

با استفاده از ابزار مدل‌سازی زمینی تعیین کند که کدام DME برای تمام نقاط طرح‌های پروازی RNAV در دید مستقیم قرار دارد و قابل استفاده توسط FMS است (در برد ۳ تا ۱۶۰ ناتیکال مایل و زیر زاویهٔ ۴۰ درجه باشند). سپس، از لیست ایجاد شده، DME های Collocate شده با تجهیزات ILS حذف کند [۱۰].

مرحله سوم- ایجاد پشتیبانی از جفت‌های DME

براساس لیست تهیه شده در مرحلهٔ قبل، ترکیبات ممکن و دارای صلاحیت از جفت شدن DMEها در هر نقطه از سرویس RNAV تعیین کند. برای هر یک از این جفت‌ها محدودیت‌های زاویهٔ پوششی (۳۰ تا ۱۵۰ درجه) را ارزیابی کند. همچنین، NSE آن‌ها را محاسبه و ارزیابی کند که آیا با الزامات دقت مطابقت دارد. برای DME که در فرایند ارزیابی زیرساخت استفاده می‌شود، DOC باید حجم سرویس مرتبط RNAV را شامل شود. این ممکن است به گسترش DOC نیاز داشته و می‌تواند شامل محدودیت‌های ارتفاع خاص باشد. اگر طرح‌های پروازی RNAV نیازمند محدودهٔ پوشش بیشتر از DOC خود باشد، برای افزایش پوشش DOC به صورت همه جهته یا جهتی نیاز است

که مهندس ANSP با سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیوئی هماهنگی لازم را به عمل آورد تا افزایش پوشش مربوطه باعث تداخل در عملکرد سایر سیستم‌های ارتباطی و هوانوردی نشود. همچنین، در بعضی موارد ممکن است نیاز باشد در مناطق مرزی با کشورهای همسایه در خصوص افزایش پوشش سیستم مربوطه هماهنگی لازم انجام شود [۱۰].

مرحله چهارم- شناسایی مسائل خاص

علاوه بر شناسایی جفت‌های واجد شرایط از تجهیزات DME لازم است که تجهیزات بحرانی شناسایی شود. همچنین، تجهیزات DME برای بازرسی پرواز جهت ارزیابی هر گونه اثرات زیان‌آور بر روی ناوبری مانند دریافت سیگنال‌هایی که مطابق الزامات انکس ۱۰ نیستند، باید شناسایی شود. این‌ها DMEهایی هستند که سیگنال‌هایشان در فاصله‌های دور در زاویه‌های کم قابل دریافت هستند (مانند تجهیزات DME در امتداد مسیر پرواز قبلی). لازم به ذکر است که سیستم ناوبری تاکتیکی نظامی (تاکان)[1] قدیمی و غیر از تأسیسات دولتی نیز ممکن است مستحق ملاحظات خاص با توجه به اثرات زیان‌آور باشد. اگر یک TACAN که مطابق با الزامات-DME ranging انکس ۱۰ نیست، در محدوده به‌روزرسانی احتمالی قرار داشته باشد، این ایستگاه نباید در AIP کشور منتشر شود تا از ذخیره‌سازی در پایگاه داده ناوبری جلوگیری شود [۱۰].

مرحله پنجم- آماده‌سازی و انجام بازرسی پرواز

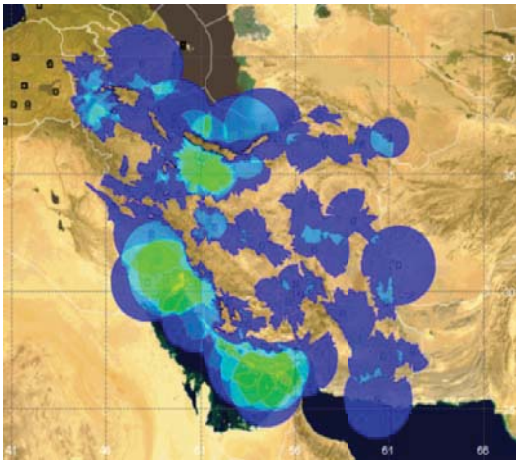
سوابق بازرسی پروازی را برای هر DME که در لیست DME/DME قرار دارد، بررسی شود. به هر گونه مسائل خاص توجه کنید. اگر مدارک کافی در دسترس باشد که تمام یا بخشی از سیگنال‌های DME استفاده شده در طرح پروازی، فضای هوایی مربوطه را پوشش می‌دهد، تمام یا بخشی از بازرسی پرواز ممکن است حذف شود [۱۰]. فهرستی از DMEها را برای بازرسی پرواز و ارتباط دادن هر گونه یافته (مانند پوشش ناقص کل طرح پروازی) به سازمان بازرسی پرواز از جمله نیاز به در نظر گرفتن هر عامل خاصی، تهیه شود. این داده‌ها باید همراه با اطلاعات ورودی مشابه که برای ارزیابی انجام شده با مدل‌سازی مورد نیاز است (از جمله تعریف مسیر، مشخصات عمودی و غیره)، در دسترس قرار گیرد [۱۰]. بسته به مشخصات جغرافیایی بین زمین، سایت DME و طرح پروازی RNAV انعکاسات سیگنال می‌تواند رخ دهد که این موضوع باعث افزایش اندازه‌گیری تأخیر زمان می‌شود. این امکان در مناطق تپه‌ای و کوهستانی یا نزدیک دریاچه‌ها وجود دارد و می‌تواند شامل مواردی مانند سیگنال منعکس‌کننده قوی‌تر از سیگنال مستقیم باشد. چنین پدیده‌هایی باید در بازرسی پرواز شناسایی شود. اگر یک تسهیلات برای ارائه سیگنال‌های گمراه‌کننده در منطقه مربوطه پیدا شود، این طرح پروازی نباید برای اجرای RNAV با استفاده از DME/DME مجاز باشد [۱۰].

مرحله ششم- پایان اقدامات ارزیابی و پیاده‌سازی

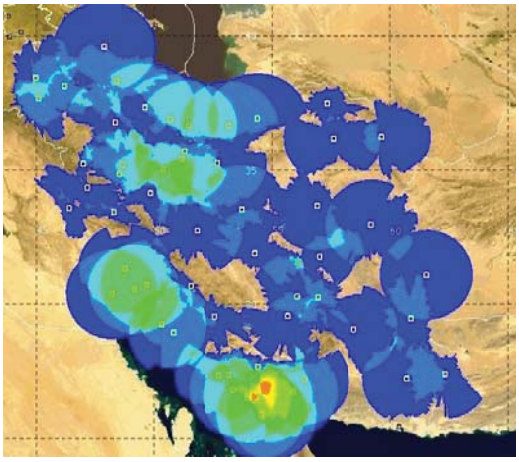
مهندسین ANSP باید گزارش بازرسی پرواز را بررسی کنند تا ببینند که آیا فرضیه‌های ارزیابی اولیه تأیید شده است یا اینکه آیا اثرات غیرمنتظره کشف شده‌اند تا اقدامات لازم را برای مقابله با آن انجام دهند. اگر هر گونه امکانات DME زیان‌آور برای ناوبری شناخته شده باشد، باید از فهرست DMEهای پشتیبانی و جفت‌های مربوطه (در صورت قابل‌اجرا بودن) حذف شود. تمام امکانات DME که برای پشتیبانی از طرح‌های پروازی یافت می‌شود، باید تأییدیه‌های AIP خود را دریافت نمایند تا اطمینان حاصل شود که DOC مربوطه متناسب با محدودهٔ مورد نیاز و تأیید شده باشد. همچنین، اگر این ارزیابی دارای تجهیزات DME مورد نیاز باشد که توسط نهاد مسئول طرح‌های پروازی RNAV نگهداری نمی‌شوند، موافقت‌نامه‌های سطح خدمات ضروری است. تمام یافته‌ها و فرضیات ارزیابی باید به طور مناسب مستند و در یک گزارش تهیه شود. این گزارش باید به شیوه‌ای بایگانی شود که زمانی که تغییراتی در طرح‌های پروازی در نظر گرفته می‌شود، بتوان برای مشورت به آن‌ها رجوع کرد [۱۰].

با توجه به تعداد DMEهای نصب شده در فرودگاه‌های کشور و همچنین ایستگاه‌های هوانوردی مستقر در مسیر های هوانوردی می‌توان میزان پوشش و همچنین سرویس دهی بر اساس هدایت ناوبری هوایی بصورت DME/DME را با استفاده از شکل‌های **۱۵** الی **۱۷** ابتدا پوشش تجمعی سیستم‌های DME به تنهایی در سطح کشور در ارتفاع‌های بالای ۱۰,۰۰۰، ۱۶,۰۰۰ و ۲۸,۰۰۰ پا را نشان می‌دهیم. البته لازم به ذکر است این نوع پوشش کارایی مفیدی نخواهد داشت. چراکه برای انجام طرح‌های DME/DME حداقل دو سیستم DME برای طرح‌های RNAV2 به بالا مورد نیاز است. در شکل **۱۸** پوشش سیگنالی DME/DME برای فرودگاه‌های کشور توسط نرم‌افزار DEMETER انجام شده است که مشخص شده در حال حاضر امکان طراحی طرح‌های پروازی مبتنی بر RNAV1 در مناطق جنوب غربی تا شمال غربی، وجود دارد.

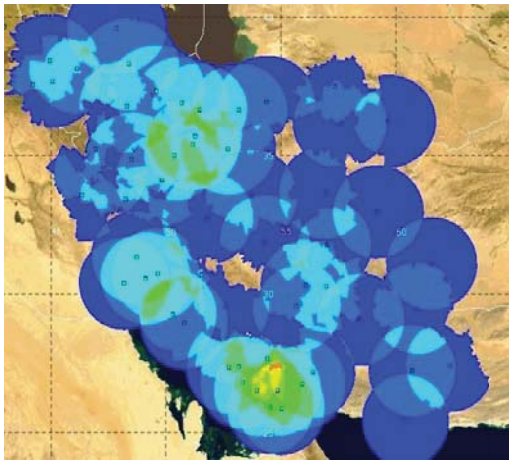
1. Tactical Air Navigation (TACAN)



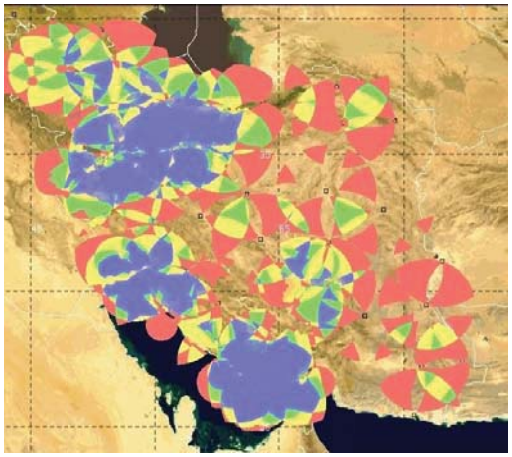
شکل (۱۵): پوشش DME در ارتفاع ۱۰,۰۰۰ پا.



شکل (۱۶): پوشش DME در ارتفاع ۱۶,۰۰۰ پا.



شکل (۱۷): پوشش DME در ارتفاع ۲۸,۰۰۰ پا.



شکل (۱۸): برآورد پوشش DME/DME .

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به گستردگی ایستگاه‌های VOR/DME، NDB/DME، ILS/DME و DVOR/DME در فرودگاه‌های کشور می‌توان از این ظرفیت موجود در جهت پیاده‌سازی طرح‌های پروازی RNAV و RNP مبتنی بر DME/DME جهت پشتیبان طرح‌های GNSS استفاده نمود.با توجه به پیاده‌سازی پوشش سیگنالی توسط نرم‌افزار DEMETER مشخص شد که از لحاظ پیاده‌سازی ناوبری هوایی مبتنی بر سیستمDME/DME در هواپیماها درحال حاضر برای جنوب غربی و شمال غربی امکان پذیر می‌باشد. اما برای سایر نقاط فضای کشور جهت مسیرهای پروازی فضای کشور از لحاظ فراهم نمودن طرح‌های پروازی DME/DME می‌بایستی توسط معاونت محترم عملیات هوانوردی شرکت فرودگاه‌ها و ناوبری هوایی ایران، اعلام نیاز گزارش شود تا اداره کل ارتباطات و ناوبری هوایی برنامه‌ریزی لازم در خصوص خرید سیستم‌های DME جدید اقدام نماید تا علاوه بر استفاده از ظرفیت کنونی کشور با بهره‌گیری از سیستم‌های DME خریداری شده بتواند کل فضای آسمان کشور ایران اسلامی را به پوشش سیگنالی DME/DME به عنوان پشتیبان طرح‌های ناوبری GNSS در نظر بگیرد.

۶- مراجع

[1] Hamidzade delarzi, Z., "Doing Revision of the Modern FMS Navigation System and Analysis of Its Input Sensors", B.Sc. Thesis, CATC, 2019 (In Persain).
[2] ICAO, "*Annex 10, Chapter 3, Volum 1*", 2009.
[3] Lufthansa Technical Training GmbH, "*Training Manual A319 / 320 / 321- ATA 34 Navigation Radio Navigation*", 2001.

[4] ATR Training Centre, "*TRAINING HANDOUT T1 42-400I500 and 72-212A (600 VARIANT) -ATA 34 NAVIGATION*", 2015.
[5] ICAO, DOC 9849, Global Navigation Satellite System (GNSS) Manual, 2nd Edition, 2013.
[6] ICAO, "*DOC 9613, Performance-based Navigation (PBN) Manual*", 4th Edition, 2013.
[7] Engineering and Maintenance Training Department, "*FMS Training Manual*", 2014.
[8] Lufthansa Technical Training GmbH, "*Training Manual A319 / 320 / 321-ATA 22 Autoflight"*,1999.
[9] ATR Training Centre, "*TRAINING HANDOUT T1 42-400I500 and 72-212A (600 VARIANT) - ATA 22 AUTO FLIGHT CONTROL SYSTEM*", 2015.
[10] Eurocontrol, "*Guidance Material for P-RNAV Infrastructure Assessment*", Vol. 1, No. 2, pp. 11-32, 2008.
[11] ICAO, "*DOC 8168, Part III, Section1, Chapter 3, Volum 2*", 2008, pp. 567-575
[12] ICAO, "*DOC8168, Part II, Section 3, Chapter 2, Volum 1*", pp. 247-248, 2006.
[13] Nikhil Verma, Md Rejwanul Haque, "DME-DME Network and Future Air Traffic Capacity", *Journal of Modern Science and Technology*, Vol. 1, No. 1, pp.45-51, 2013.